



III-292 - ESTUDO DA EFICIÊNCIA DO PRÉ-TRATAMENTO DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO POR EVAPORAÇÃO

Jackeline Maria Cardoso de França Bahé⁽¹⁾

M.Sc. Engenharia Ambiental, Professora da Coordenação de Química Industrial do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) – Unidade Maracanã – Graduada em Engenharia Química.

Lourdinha Florêncio

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Saneamento Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE

Sávia Gavazza

Professor Adjunto do Núcleo de Tecnologia, Centro Acadêmico do Agreste, Caruaru. UFPE

Eduardo Pacheco Jordão

Professor Associado do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, Escola Politécnica, UFRJ

Mário Takayuki Kato

Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Saneamento Ambiental, Centro de Tecnologia e Geociências, UFPE.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Escola de Engenharia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Saneamento Ambiental. Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária. CEP: 50.740-530 Recife PE. Tel: +55 (81) 2126-8228/8743. Fax: +55 (81) 2126-8716. E-mail: jackbahe@gmail.com; kato@ufpe.br

RESUMO

O lixiviado de aterro sanitário contém alta carga poluidora e sua composição apresenta grande quantidade de amônia e substâncias recalcitrantes. Os processos de biodegradação necessitam de pré-tratamento físico-químico e muitas vezes um pós-tratamento é utilizado para alcançar os parâmetros de lançamento. A evaporação do lixiviado de aterro sanitário é uma técnica de redução do volume de lixiviado a tratar, utilizando como meio calorífico o próprio gás de aterro, o que possibilita gerar créditos de carbono. Esta técnica gera dois produtos: o lixiviado concentrado (resíduo) que retorna para o aterro e os vapores que são lançados no meio atmosférico. Existe pouca literatura a respeito deste assunto e as características destes produtos precisam ser mais exploradas.

Neste sentido, este trabalho procura estudar a eficiência da evaporação, como um pré-tratamento, conduzindo esta operação em bancada de laboratório, utilizando vidraria de destilação e evaporando cerca de 1500 mL de lixiviado. Os produtos da evaporação: resíduo (500 mL) e vapores condensados (1000 mL) foram recolhidos em frascos apropriados para caracterização.

O vapor condensado mostrou-se isento de carga orgânica, com uma eficiência de 97% porém apresentou grande concentração de amônia (2.022 mg/L). Em relação aos resíduos, a carga orgânica mostrou-se presente em grande concentração, o que já era esperado. Esta técnica mostra promissora porque diminui o lançamento nos corpos hídricos e é uma técnica de custo relativamente pequeno. O experimento deu margem a novas perguntas e os parâmetros estudados como alcalinidade, pH, cloretos, sólidos e amônia desenharam o comportamento do lixiviado durante a evaporação.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado de aterro sanitário, evaporação, resíduo sólido, aterro sanitário.

INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário é um líquido escuro e de odor desagradável. A quantidade e a qualidade desse lixiviado dependem de muitos fatores, além da composição do lixo e da idade do aterro. É caracterizada, por uma grande quantidade de matéria orgânica, substância recalcitrante e grande quantidade de amônia, que é tóxica aos peixes quantidade de amônia, que é tóxica aos peixes e serve como traçador de poluição do lixiviado nos corpos hídricos. Existem diversas tecnologias de tratamento para lixiviados de aterro sanitário, porém, é necessário duas ou mais tecnologias interligadas em série para alcançar a eficiência satisfatória, o que torna um processo caro. O gás de aterro pode ser canalizado como aproveitamento de energia, mas muitas vezes é apenas queimado no próprio aterro como forma de tratamento.



As tecnologias mais usuais nos aterros sanitários são: tratamento físico-químico, tratamento biológico e sistemas de separação por membranas filtrantes. O tratamento biológico tem se mostrado pouco eficiente para efluentes líquidos de aterros antigos, já que esses apresentam elevadas concentrações de amônia, cloretos e de compostos recalcitrantes. Além disso, a carência de fósforo na composição desse resíduo, nutriente essencial para a atividade metabólica dos microrganismos, implica na sua adição artificial para assegurar a degradação biológica do lixiviado. A escolha da tecnologia para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário requer uma criteriosa avaliação de parâmetros técnicos e econômicos.

A evaporação de lixiviado permite uma redução do seu volume em até 98%. O equipamento conhecido como Evaporador utiliza o próprio gás metano produzido no aterro sanitário como fonte de energia calórica, para evaporar o lixiviado. Essa tecnologia mostra-se promissora por apresentar baixo custo operacional e por possibilitar a geração de créditos carbono. O resíduo sólido gerado nesse processo apresenta um aspecto pastoso, em quantidade diminuta, que pode ser descartado no próprio aterro sanitário. Os custos de operação do Evaporador estão principalmente relacionados com o transporte e o armazenamento do lixiviado e do gás de aterro. O objetivo desse estudo é avaliar a eficiência da evaporação como pré-tratamento de lixiviados de aterro sanitário e caracterizar o resíduo e os vapores lançados no ar atmosférico.

O lixiviado que faz parte dessa pesquisa é proveniente do Aterro de Gramacho, localizado no município de Duque de Caxias, Rio de Janeiro. O aterro de Gramacho recebe em torno de 7.200 t/d de resíduos, e gera cerca de 1.500 m³/d de lixiviado.

O presente trabalho é parte integrante do Projeto de Pesquisa “Desenvolvimento de Tecnologias Aplicadas ao Tratamento de Lixiviados”, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em parceria com a COMLURB, no âmbito do PROSAB, Edital 5, Tema III (Resíduos Sólidos). Uma das linhas de pesquisa desse projeto é o tratamento de lixiviado, utilizando a tecnologia de evaporação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho de pesquisa foi realizado, utilizando as dependências de dois laboratórios, a evaporação conduzida no Laboratório de Meio Ambiente do Centro Federal de Educação Tecnológica em Química - Unidade Maracanã - e as análises físico-químicas realizadas pela Equipe do Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ (LEMA-Poli/UFRJ).

Para os testes da evaporação do lixiviado em escala de laboratório, utilizou-se uma aparelhagem semelhante à destilação fracionada (Figura 1), composta por um balão de fundo chato de três litros com entrada para termômetro, uma coluna de fracionamento (torre) recheada com anéis de vidro, um condensador de Liebig (condensador de tubo reto), uma unha de destilação, um erlenmeyer, bolas de vidro, suporte universal, garras e mangueiras. Como aquecimento foi utilizado uma manta elétrica, da marca QUIMIS, MODELO Q-321 A27, CAPACIDADE DE 3000 mL, de três litros. Vale ressaltar que toda a evaporação foi conduzida na capela, com a finalidade de proteger o ambiente dos vapores de amônia. Dessa maneira, a amônia condensada foi recolhida em um banho de gelo a fim de evitar a perda para o ambiente, tendo em vista sua alta volatilidade. O conjunto balão-torre-condensador foi muito bem acoplado utilizando-se fitas de PVC entre as juntas esmerilhadas para evitar vazamentos de amônia.

A evaporação foi realizada uma vez por semana, totalizando 12 evaporações com lixiviado bruto. As amostras de lixiviado bruto (1,5 litro) foram transferidas para uma proveta de capacidade de 2 litros e a temperatura aferida com um termômetro de vidro. Em seguida, transferiu-se o volume medido (1,5 L) na proveta para um balão de fundo chato de 3,0 litros, adicionando bolas de vidro. Esse balão foi conectado à torre de fracionamento, contendo anéis de vidro em seu interior, e isolada termicamente com cordão de linha. A torre de fracionamento por sua vez foi conectada ao condensador de Liebig e este à unha de destilação. O termômetro de vidro foi colocado no balão de fundo chato. Todas as conexões estavam isoladas com fitas de PVC. A unha de destilação foi conectada a uma borracha de silicone para levar o condensado até o fundo do erlenmeyer, o qual estava imerso em banho de gelo e sua boca semi-isolada com um aparato de isopor, para evitar perdas de amônia. Ao ligar a manta elétrica, foi anotada à hora de início da evaporação e a hora de início da ebulição. Dessa forma, a evaporação prosseguia até se conseguir 1000 mL de condensado e 500 mL de resíduo. Neste momento a manta elétrica foi desligada e, anotado a hora final da evaporação. O condensado inicial não foi descartado para simular a evaporação de campo. As amostras dos vapores condensados e de



resíduo foram condicionadas em frascos de plásticos e guardadas sob refrigeração até o dia posterior, para análises no LEMA.



Figura 1 -Vidrarias e equipamentos utilizados na evaporação do lixiviado

Análises Realizadas

As amostras de lixiviado foram recolhidas no dia anterior aos testes, em frascos de plástico limpos de 3,0 litros, porém não esterilizados e sem nenhum tipo de preservação química, apenas acondicionada em estufa a 20°C por 24 horas. O ponto da amostragem era na calha Parshal da lagoa de equalização de lixiviado

Cabe ressaltar que todas as amostras seguiram os procedimentos do Guia Técnico de coleta de amostras de água e efluentes – CETESB, 1977.

Quanto ao volume evaporado, foram testados 03 quantidades: 2,0 litros, 1,5 litro e 1,0 litro. O volume que permitiu uma caracterização melhor dos resíduos e dos vapores condensados e mostrou menores problemas operacionais foi o volume de 1,5 litros, tomado então para os testes de evaporação.

As análises químicas versus a frequência de amostragem estão determinados na Tabelas 1 e os métodos de análise descritos na Tabela 3. A operação da evaporação também foi monitorada segundo os parâmetros da Tabela 2.

Tabela 1-Amostras e frequência de amostragem, proposto para Evaporação Lixiviado Bruto

PLANO DE AMOSTRAGEM		
Análises: DQO, DBO, sólidos, cor, turbidez, cloretos, pH, alcalinidade, amônia.		
Frequência: Semanal		
AMOSTRAS		
1-Lixiviado	2-Vapores Condensados	3-Resíduo

É importante conhecer a temperatura inicial do lixiviado, porque o tempo de ebulição depende dessa variável. Quanto menor a temperatura inicial do lixiviado, maior será o tempo que levará para entrar em ebulição. O período da evaporação, como também, a vazão do destilado será conhecida através do intervalo entre o início e o fim dos testes da evaporação.

Tabela 2 -Modelo de Ficha para controle de parâmetros da operação de evaporação

Evaporações	1º	2º	3º
Datas			
Temperatura do lixiviado (°C)			
Início do processo da evaporação (horas)			
Início da ebulição (horas)			
Fim do processo (horas)			



Tabela 3-Relação das análises versus método de determinação

Análises	Método	OBS
Standard Method for the Examination of Water and Wastewater - 20th Ed.1998.		
DQO	Método: 5220B - Parte 5: Pág 14	Refluxo aberto com determinação titulométrica.
DBO	Método: 5210 B – Parte 2: Pág 03	Incubação de 5 dias (com semente)
Cloretos	Método: 4500 Cl ⁻ B - Parte 4: Pág 67	
AOV	Método: 5560 C – Parte 5: Pág 54	Método de destilação
N-NH₃	Método: 4500 F. Parte 4: Pág 108	Método do Indofenol (Espectrofotômetro)
pH	Método: 4500 B - Parte 4: Pág. 86	Potenciométrico
SST	Método: 2540 B Parte 2: Pág 55	Secagem 103 – 105 °C
SSF e SSV	Método: 2540 E Parte 2: Pág 58	Ignição 550 °C
Método FEEMA		
Alcalinidade	Método: MF-441 R1	Mét. Titulométrico com indicador
Turbidez	Método: MF-435	Método Nefelométrico
Método HACH		
Cor Verdadeira	Método: 8025 Adaptação Standard Methods	APHA – Platinum – Cobalt Standard Method Espectrofotômetro DR2010

RESULTADOS E DISCURSÕES

Variáveis de processo

A evaporação em laboratório foi realizada de forma a reduzir o lixiviado em 70% do seu volume total e, além disto, ter volume suficiente para realizar as análises tanto no resíduo como no condensado. A Tabela 5 apresenta as variáveis de processo na evaporação de 1500 mL de lixiviado .

Tabela 5-Variáveis do processo da evaporação em laboratório

Lixiviado :	1500 mL	Média	Máximo	Mínimo
Condensado:	1000 mL			
Resíduo:	500 mL			
Temp. do lixiviado (°C)		21	29	18
Tempo para ebulição (min)		22	30	15
Tempo de Evaporação (h)		06	09	04
Vazão do condensado (mL/h)		166	111	250

A temperatura inicial do lixiviado também contribui na eficiência da evaporação, pois, quanto mais frio o lixiviado, maior será o tempo para entrar em ebulição. Além disso, outro fator, que se deve levar em conta, é a quantidade de sólidos dissolvidos, já que segundo o efeito ebuliométrico, um líquido tem sua temperatura ou seu tempo de ebulição alterado pela presença de sólido não-volátil.

A evaporação do lixiviado apresenta algumas dificuldades: espuma, refluxo, evaporação em saltos. É necessária muita atenção na evaporação do lixiviado, para não perder material. As bolas de vidro são muito importantes nesse processo, porque ajuda a evitar uma ebulição mais suave. Quando se deseja apenas o condensado, podem-se adicionar gotas de octanol ou óleo de silicone ao lixiviado, para favorecer uma evaporação mais suave (DIAS et al., 2004). No caso desse experimento, não foi utilizado o óleo de silicone e nem o octanol, para não interferir nas análises do resíduo.

Eficiência de Remoção

No caso de lixiviados de aterro sanitário a DQO costuma ser bastante alta em relação à DBO. Este estudo observou que a DQO e a DBO ficaram retidas no resíduo. Pode-se perceber ainda que a DQO no resíduo é muito mais alta, tornando o resíduo uma substância recalcitrante. A Figura 2 relaciona a DQO e a DBO nas suas três fases (lixiviado, resíduo e vapor condensado), e permite visualizar a eficiência da evaporação no que diz respeito à remoção da DQO e DBO. Esses resultados estão de acordo com o apresentado por BIRCHLER (1994) e SEGATO (2001), em termos de remoção da DQO e DBO dos vapores da evaporação (condensado).

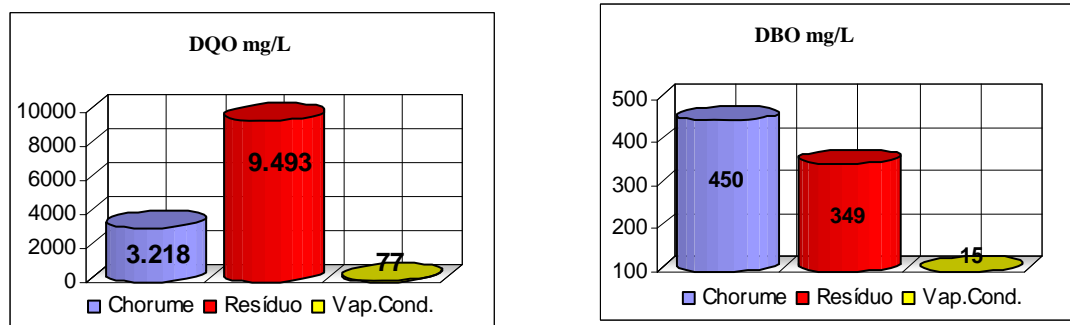


Figura 2-Comparação da DBO e da DQO

O maior responsável pela presença dos cloretos são os sólidos dissolvidos (JORDÃO & PESSÔA, 2005). De acordo com a Figura 3, pode-se notar o alto teor de cloretos do lixiviado do aterro sanitário de Gramacho. Após a evaporação, o resíduo (lixiviado concentrado) apresentou um alto teor de cloretos, superior ao valor inicial; isto porque durante a ebulição, ligações químicas de muitos compostos, onde o cloro estava presente, foram rompidas e novos cloretos apareceram. Não foram encontradas referências a esse parâmetro nas literaturas pesquisadas em relação à evaporação de lixiviado.

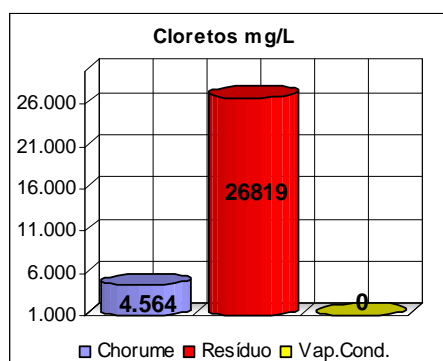


Figura 3-Cloretos

A amônia é a substância mais preocupante, pois, sua liberação para o ambiente é um fator perigoso, tendo em vista que, a atmosfera possui um tempo de residência que varia entre uma a duas semanas. As principais reações que levam ao consumo da amônia gasosa envolvem a formação de NO_x e a reação com espécies ácidas formam partículas secundárias, NH_x . O valor limite de amônia, que uma pessoa pode ser exposta durante 8h de trabalho diário sem causar danos à saúde, é de 30 ppm (FELIX & CARDOSO, 2003). O comportamento da amônia durante a evaporação (Figura 4) mostrou que a maior parte, em média 3.481 mg/L, foi transferida para o condensado (vapores da evaporação). Este resultado concorda com os encontrados por VIGNOLI (2007), na faixa entre 3.951 – 3.189 mg/L.

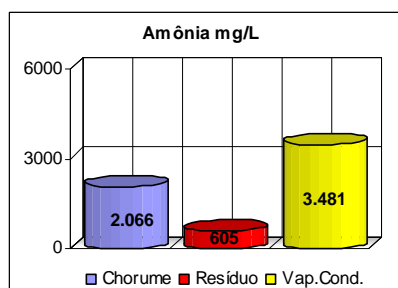


Figura 4-Amônia

Os compostos responsáveis pela alcalinidade do lixiviado são os carbonatos e bicarbonatos, e, quando submetidos à evaporação suas ligações intermoleculares são rompidas e transformadas em CO_2 . Esses gases, ao serem liberados dentro do próprio líquido, fazem muita espuma. Ao passo que, quando condensados,



reagem novamente com a água, voltando a suas formas originais e tornando o condensado também alcalino. No caso da alcalinidade (Figura 5), pode-se observar um pequeno equilíbrio nas três fases (lixiviado, resíduo e condensado), levando em consideração que o resíduo poderia ter sido quase totalmente evaporado, se o percentual da evaporação tivesse sido maior que 70%. E, nesse caso, o valor da alcalinidade tenderia a diminuir. Não foi encontrada referência a esse parâmetro na literatura pesquisada. A presença da alcalinidade ajudou a manter o pH de caráter básico, o que ajudou a liberação da amônia para o condensado, de acordo com a Figura 6.

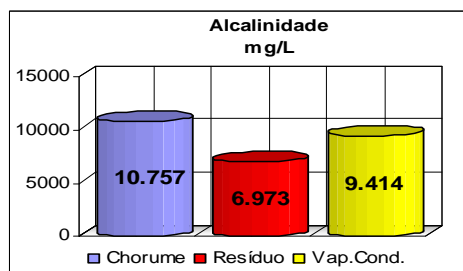


Figura 5-Alcalinidade

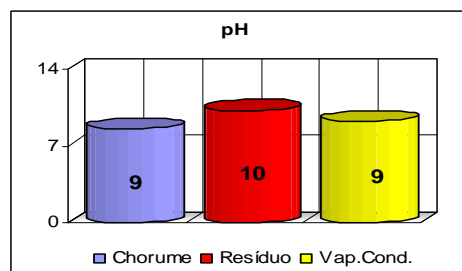


Figura 6 - pH

A turbidez (Figura 7), a cor (Figura 8) e os sólidos totais (Figura 9) tiveram seu comportamento de acordo com a presença dos sólidos em cada fase da evaporação (lixiviado, resíduo e condensado).

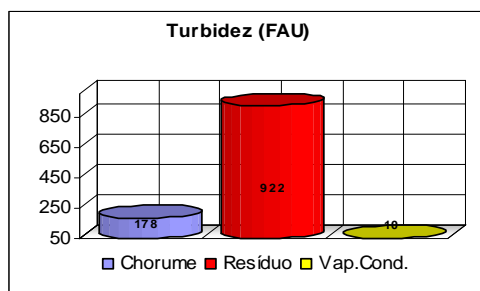


Figura 7-Turbidez

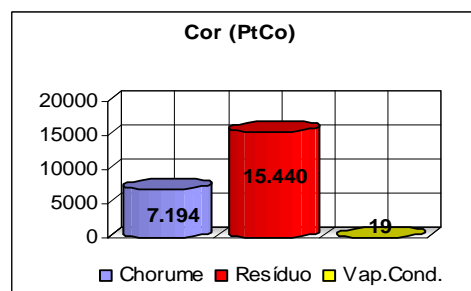


Figura 8-Cor

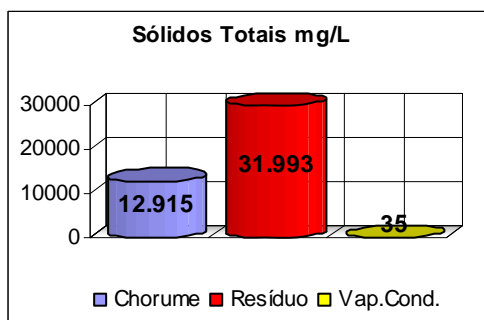


Figura 9- Sólidos Totais

A evaporação de lixiviado nos fornece dois efluentes, um em forma de vapor (em maior quantidade, lançado no ar atmosférico) e outro em forma de resíduo, o qual deve voltar para o aterro. A Tabela 6 compara os valores de emissão do lixiviado tratado de forma convencional no aterro de Gramacho com os valores do efluente tratado através da evaporação de lixiviado (resíduo e vapores condensados). Nos resíduos, houve um aumento das cargas orgânicas e sais, pela própria redução do volume, pela dissolução dos sais, além de outros fatores. No condensado, observa-se claramente que apenas a amônia e a alcalinidade permaneceram com um valor muito alto e que os outros parâmetros são quase eliminados. Os resultados desse experimento estão de acordo com os estudos sobre evaporação de lixiviado realizados por BIRCHLER et al. (1994), em escala de laboratório.



Tabela 6-Tratamento do lixiviado: Convencional x Evaporação

Parâmetros	Lixiviado Bruto ***	Efluente Tratado Método convencional**	Efluente Tratado Evaporação (Resíduo)* EV Bruta	Efluente Tratado Evaporação (Vapores)	
				EV Bruta	EV Ácida
DBO (mg/L)	209	<3	465	17	
DQO (mg/L)	3.047	221	9.493	77	
pH	8,39	8,61	10	9,4	
Cor (mg Pt/L)	3.000	2,5	19.185	17	
NH ₃ -N(mg/L)	1.823,8	<0,1	605	2.022	0,76
Alcalinidade	-	112	6.973	6.582	
Cloretos	4.484	1.421	8.840	17	

*O resíduo volta para o aterro como opção de tratamento.

**Fonte: COMLURB (2006)

***Esta tabela foi montada para simples comparação, o lixiviado do efluente tratado e o do evaporado são provenientes do mesmo aterro, porém de datas diferente.

CONCLUSÃO

A evaporação apresentou ser uma boa opção de pré-tratamento do lixiviado, porque além de reduzir o volume do efluente a ser tratado, aproveita o gás de aterro como fonte de aquecimento, gerando créditos de carbono. A temperatura de ebulição do lixiviado ficou próxima à da água. O grande inconveniente da operação é a grande formação de espumas, além de problemas de incrustação e corrosão, gerados pelos sais depositados no equipamento. A evaporação de 1500 mL de lixiviado, com 70% de redução, teve um período médio de 6 horas e uma vazão de condensado de 168 mL/min com a temperatura inicial do lixiviado geralmente em torno de 21°C. Vale a pena frisar que neste tipo de operação, o efluente não é lançado nos corpos hídricos e sim no ar atmosférico. O resíduo volta para o aterro. Em termos de eficiência de remoção de carga orgânica, os vapores lançados no ar atmosférico apresentaram uma eficiência em torno de 97%, a preocupação ficou com a amônia que não conseguiu ser reduzida. A grande crítica desta técnica é a alta concentração de carga orgânica retida nos resíduos aumentando a dificuldade de sua degradação nos aterros. A evaporação é uma técnica que precisa ser mais explorada e avaliada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAHÉ, J. M. C. F. Estudo da evaporação de lixiviados de aterros sanitários como alternativa tecnológica de tratamento: testes em bancada. *Dissertação de mestrado*-Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2008.
2. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2005. 932p.
3. FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Amônia (NH₃) Atmosférica: fontes, transformação, sorvedouros e métodos de análise. *Química Nova*. v.27, n.1, p.123-130, 2004.
4. VIGNOLI, C.N. Avaliação da minimização das emissões de amônia no processo de tratamento de chorume por evaporação. *Dissertação de mestrado*-Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. Instituto de Química, 2007. 89 p.
5. BIRCHLER, D. R.; MILKE, M. W.; MARKS, A. L.; LUTHY, R. G. Landfill leachate treatment by evaporation. *Journal of Environmental Engineering – ASCE*. v.120, n.5, p.1109-1131, sep. 1994.